

Revisiones

*Resúmenes de las ponencias del simposio de la **AEET**: Restauración de ecosistemas en ambientes mediterráneos. Posibilidades y limitaciones.*

WHAT ARE THE LIMITS TO RESTORATION OF DISTURBED ECOSYSTEMS?

Edith B. Allen

Department of Botany and Plant Sciences, University of California Riverside, EEUU.

Restorationists worldwide are attempting to restore disturbed ecosystems with varying success. Major limitations to putting these systems back in order include low biodiversity of planted and/or native colonizing species, invasions by aggressive exotic species, poor substrate conditions, changing ecosystem functions that no longer allow natural disturbance regimes, lack of suitable reference sites, and others. Various restoration goals may be applied depending upon the degree of disturbance and conservation needs of local species or habitats. Goals may vary from restoration in the fullest sense to reclamation or rehabilitation. Where goals for restoration are extremely limited, restorationists may consider creation of “designer ecosystems” for specific conservation purposes. Various examples will be discussed from California shrublands where native vegetation has only recently been severely disturbed, to Mexican tropical forest that has been inhabited and utilized for millennia.

Restoring biodiversity may be one of the most difficult goals to attain. Many disturbed lands have a depleted seedbank that can only be supplemented with difficulty. For instance, in Californian coastal sage scrub vegetation, frequent fire and high anthropogenic nitrogen deposition have caused vegetation type conversion of the native shrubland to Mediterranean annual grassland. This is coupled by a depleted native seedbank. Sites such as this may also be fragmented, so colonization by native species is limited by diminished connectivity. Even sites that were dominated by native species within recent decades may no longer be capable of total restoration, and only lesser goals with reduced species diversity and reduced ecosystem functioning can be met. Exclusion of exotic species may also not be possible after their initial removal, and their control must be part of a continual management program.

Such a discouraging scenario of environmental degradation and poor prospects for restoration must be viewed in terms of the potential for each site, and what species or ecosystem functions are to be preserved. Specific limited goals may be achieved in “designer ecosystems” that are created for specific management goals. Designer ecosystems need to be self-sustainable with minimal—or at least reasonable—management inputs. One example comes from the seasonal tropical forest in the Yucatan Peninsula, Mexico, where Mayan inhabitation for three millennia has already changed the forest composition. These forests are in need of restoration, as they are now subject to frequent fire following shifting cultivation. Human population pressure has decreased the fire cycle to five year intervals in some areas, with an accompanying decline in diversity and increase in invasion of the native and highly flammable fern *Pteridium caudatum*. Restoration of ecosystem functioning consists of reducing the fire

frequency and restoring a semblance of the mature forest architecture. However, restoration of diversity is not possible, as the forest species composition is the product of human manipulation of the vegetation. There is no true reference area in terms of species composition. In addition, there are hundreds of plant species in any one area, and the choice of which species to include in a restoration plan is overwhelming.

Thus the major goals of restoration are to reduce the fire interval and provide habitat for rare native species that currently do not occur in frequently burned sites. Natural ecosystems have self-organizing properties, which should be in force once these restoration practices have been initialized.

UTILIZACIÓN DE LEÑOSAS AUTÓCTONAS EN LA RESTAURACIÓN FORESTAL

Ramón Vallejo Calzada

Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo, Parque Tecnológico, Ch. Darwin 14, 46980 Paterna.

Se revisa la utilización de plantas leñosas nativas en los proyectos de restauración forestal en condiciones mediterráneas y sus problemas y perspectivas. Tras más de cien años de tradición repobladora fundamentada en el uso de coníferas pioneras y en la teoría de la facilitación, en las últimas dos décadas se ha diversificado el número y tipo de especies utilizadas, incluso arbustivas, en los planes de reforestación y forestación de tierras agrarias. La utilización directa de frondosas en la restauración de ecosistemas degradados se basa en asumir que la sucesión secundaria puede tener trayectorias alternativas y que determinados etapas sucesionales intermedias pueden no ser esenciales y, por lo tanto, obviadas. Esta evolución de la concepción de la restauración forestal ha respondido a los cambios de percepción social del medio natural y de los usos del monte.

La selección de especies en proyectos de restauración se beneficia de los amplios conocimientos existentes, en general, en los países Mediterráneos sobre las series de vegetación, basadas en estudios fitosociológicos. No obstante, la diversificación de las especies a utilizar en la restauración requiere un bagaje suficiente de conocimiento sobre su biología y ecología, de forma que permita el desarrollo tecnológico del manejo de las semillas y del cultivo de la planta en vivero, así como la identificación de sus limitaciones de establecimiento en ecosistemas degradados con fuerte déficit hídrico. Las deficiencias en dicho desarrollo tecnológico han supuesto, en ocasiones, la obtención de pobres resultados con especies poco experimentadas. La introducción de especies características de etapas avanzadas de la sucesión se enfrenta a problemas derivados, en general, de su poca tolerancia al estrés hídrico y su sensibilidad al estrés de plantación.

El momento crítico en el proceso restaurador es la fase de establecimiento, tanto en plantaciones como en siembras. En el caso de las plantaciones, la planta debe superar el estrés de post-plantación en el que el plantón debe reiniciar la actividad fotosintética, en condiciones de campo generalmente limitantes, y la colonización del suelo, superando la interfase sustrato de vivero/suelo. Las técnicas de cultivo en vivero y de plantación ofrecen alternativas potenciales para reducir dicho estrés en la fase de establecimiento. Entre ellas destacan la mejora de la calidad del plantón, las técnicas de preparación del terreno para optimizar la recolección de escorrentía, la utilización de tubos protectores para la reducción de la transpiración y protección contra herbívoros, las enmiendas orgánicas del suelo o la adición de hidrogeles. Las técnicas de cultivo y plantación para *Quercus spp.*, en comparación con los pinos, deben tomar en consideración la diferente estrategia de desarrollo de estas especies, especialmente en cuanto al crecimiento de la parte subterránea respecto a la aérea.

En el momento presente se dispone de la tecnología suficiente para garantizar la introducción de un número amplio de especies autóctonas, mediante plantación, en condiciones técnicas y económicas realistas. Para las especies más exigentes, por ejemplo diversos *Quercus*, falta identificar los umbrales de hábitat que aseguren su establecimiento y desarrollo. Las técnicas de siembra todavía ofrecen resultados inciertos en condiciones de clima mediterráneo seco para las especies leñosas.

DINÁMICA DE LOS BOSQUES MEDITERRÁNEOS: MODELOS Y APLICACIONES A LA GESTIÓN

Miguel Ángel de Zavala Gironés

Dpto. de Ingeniería de los Recursos Naturales y Medio Ambiente, Universidad de Vigo.

La restauración de la vegetación, y la gestión o conservación de la vegetación ya existente, debe basarse en gran medida en el conocimiento de los procesos de sucesión ecológica de los ecosistemas terrestres. Durante las últimas décadas se han llevado a cabo numerosos estudios sobre los mecanismos que controlan la dinámica y la sucesión secundaria de los bosques templados. Dichos estudios han permitido el desarrollo de modelos numéricos con base biológica que explican y predicen los cambios en composición de especies y producción que se observan en el espacio y en el tiempo en los ecosistemas forestales de clima templado.

Como resultado de unas características ecológicas específicas, los ecosistemas mediterráneos presentan unos patrones de sustitución y coexistencia cualitativamente diferentes de los bosques templados. No obstante, nuestro conocimiento de los mecanismos y procesos que controlan la dinámica y composición de los rodales de las comunidades de plantas mediterráneas es bastante restringido.

En esta ponencia se presentan algunos de los avances metodológicos más significativos en el conocimiento de la dinámica de comunidades forestales de clima templado. Se enfatiza el desarrollo de modelos dinámicos de coexistencia que predicen y explican los cambios en los rodales a partir de las características de cada especie. La formulación de dichos modelos abarca varias disciplinas, desde la teoría de sistemas espaciales estocásticos hasta la ecofisiología, y su integración supone un reto clave para el avance de la Ecología actual.

Se presentan resultados sobre varias líneas de investigación en curso relacionadas con el desarrollo de modelos analíticos y numéricos de dinámica forestal en bosques mediterráneos. Se propone una teoría general acerca de los mecanismos que estructuran las comunidades de plantas mediterráneas, basada en un conjunto definido de estrategias relacionadas con la luz, el agua y las perturbaciones repetidas. Dichas estrategias a su vez pueden ser explicadas como una aproximación por las diferentes estrategias de asignación de biomasa y arquitectura de la planta.

Esta teoría es comprobada mediante un simulador forestal parametrizado con datos de campo y experimentales, cuyas predicciones son contrastadas con datos de inventarios forestales para algunas de las especies más representativas de los bosques mediterráneos ibéricos. El análisis matemático de estos modelos nos acercan al conocimiento de los mecanismos de la sucesión ecológica y los tipos de dinámica que pueden exhibir los bosques mediterráneos. Ello sugiere a su vez experimentos y medidas de campo críticos para conocer las causas que estructuran y mantienen la diversidad de las comunidades de plantas mediterráneas.

Finalmente se discute la relevancia de estos resultados para la gestión forestal y se defiende la necesidad de revisar algunos de los principios empíricos de la silvicultura y la ordenación de montes mediterráneos en función de los avances obtenidos en diferentes ámbitos de la Ecología. Se argumenta que el desarrollo de modelos de dinámica forestal con base biológica es esencial para la formulación de una silvicultura específica mediterránea y para una aplicación adecuada de los criterios de gestión forestal sostenible.

RESTAURACIÓN DE RIBERAS

Diego García de Jalón Lastra

Escuela de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid.

Se analizan las posibles técnicas de restauración de riberas que existen en función del marco conceptual y filosofía en que se encuadra. La restauración de riberas necesita diseñar una estructura física y biológica, denominada imagen objetivo. La imagen objetivo es el conjunto de características de la ribera que queremos conseguir, y su funcionamiento ha de estar en equilibrio dinámico sostenible con las salidas de las cuencas que las incluyen. Estas salidas son principalmente los caudales líquidos y sólidos, y representan las fuerzas controladoras y determinantes de la geomorfología fluvial.

Cuando la imagen objetivo que diseñamos corresponden al estado natural y pristino del río, nos referimos a la restauración en sentido estricto, mientras que cuando diseñamos riberas con cierta artificialidad (algún efecto antrópico resulta inevitable en la mayoría de las ocasiones) debemos referirnos a rehabilitación. Finalmente, cuando lo que se pretende es crear un 'jardín' fluvial, cuya necesidad de mantenimiento continuado, permite la desconexión de su estructura con su funcionamiento, debemos considerarlo como un maquillaje.

El marco conceptual de la restauración de las riberas se basa en tres ideas: 1) las riberas forman parte del ecosistema fluvial, 2) es necesario el comprender el funcionamiento del río, y 3) debemos tener presente el principio de precaución ("más vale prevenir que curar"). Las riberas son el resultado de interacciones jerarquizadas entre el agua, los sedimentos y los organismos vivos, cuyo sustrato es consecuencia de la dinámica geomorfológica sobre el que se desarrolla la vegetación riparia. A una mayor escala espacial es también importante el considerar la función de conectividad de la ribera como soporte de corredores biológicos. El funcionamiento del río significa diseñar actuaciones de restauración siempre a favor de la corriente. De esta forma podemos aprovechar la fuerza hidráulica para realizar la labor y se potencian los procesos de autorecuperación. Hay que tener en cuenta que el río "necesita espacio" para funcionar como ecotono y para laminar la fuerza de las crecidas naturales.

A la hora de planear la restauración de una ribera hay que seguir unas etapas ordenadamente. En primer lugar, es necesario definir la imagen objetivo. Para ello tomaremos referencias de riberas bien conservadas próximas o de fotos y descripciones antiguas. Seguidamente, deberemos diagnosticar la problemática que afecta a la ribera, identificando los factores que impiden alcanzar la imagen objetivo. Las actuaciones de restauración se plantearán exclusivamente sobre estos factores limitantes, siempre y cuando sean viables y eficaces desde los puntos de vista ecológico, económico y social. Finalmente es importante el realizar un seguimiento a corto y medio plazo para comprobar que se alcanza la imagen objetivo. Debido a la corta experiencia que se tiene en restauración de riberas en ríos mediterráneos es

conveniente que los proyectos de restauración se diseñen para periodos largos, de 2 o más años, para que tenga cabida la técnica de ensayo y error.

Se describen técnicas de restauración de tipo topográfico (recuperación del microrelieve), paliativo (provisión de elementos deficitarios), revegetación (mediante estaquillas, plantaciones, empalizadas, rulos y faginas) y estructurales (tales como geotextiles y alfombras plásticas, deflectores, azudes, escollera suelta y motas).

RESTAURACIÓN CON NATURALIDAD FRENTE A DESPOTISMO ILUSTRADO EN HUMEDALES MEDITERRÁNEOS

Florín Beltrán, Máximo

ETS Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Castilla-La Mancha.

El objetivo de esta ponencia es insistir en tres cuestiones de la restauración de humedales mediterráneos: 1) ¿Cuáles son los aspectos clave de su estructura y función?, 2) ¿Qué problemas y oportunidades conciernen a estas actuaciones?, y 3) Presentar una metodología con varias fases (clasificación, diagnóstico funcional y valoración), para establecer prioridades y toma de decisiones. Estas cuestiones son novedosas no tanto por su conocimiento en el ámbito mundial como por su aplicación en España, de lo que se deriva la aludida necesidad de insistir en ellas. Existe una reiteración de experiencias de falsa restauración de humedales, fracasadas por su intervencionismo mal fundamentado. Por ello se hace un análisis crítico de algunos casos de estudio, como forma constructiva de introducir cuáles son las mejores técnicas posibles en cada clase de humedal. La conclusión general de este análisis es la necesidad de proyectar la restauración de humedales mediterráneos promoviendo su autodiseño, mediante un enfoque cooperativo con el medio natural que aproveche las limitaciones que este impone, en lugar de luchar contra ellas.

En primer lugar, se revisa como el proceso de toma en consideración consciente de las limitaciones impuestas por los ecosistemas a cualquier actuación medioambiental empezó hace más de tres décadas y se ha puesto en práctica con éxito fuera de España. El desarrollo de la arquitectura del paisaje y de la ingeniería ecológica marcaron dos de los hitos de este proceso más relevantes para la restauración de ecosistemas, en particular de los humedales. La arquitectura del paisaje surgió del reconocimiento de los beneficios mutuos entre la Naturaleza y el inevitable desarrollo, si éste es controlado, consensuado y conforme al entorno regional y local. La ingeniería ecológica, por su parte, ha propuesto que la gestión de ecosistemas coopere cada vez más con el sistema de soporte de la vida, para lo cual deberá apoyarse en tres pilares básicos: 1) Que el aporte de energía externa sea mínimo, comparado con las fuentes naturales de energía, 2) Que las tecnologías aplicadas tengan profundas raíces ecológicas, es decir, que se fundamenten en cómo funcionan los ecosistemas, para minimizar el deterioro ambiental y el coste de las medidas correctoras, y 3) Que se apliquen a los procesos productivos los principios de simbiosis entre especies y de reciclado y regeneración de sustancias.

A continuación se identifican las perspectivas resultantes de estos enfoques. Por una parte, han inspirado una legislación que tiende a combatir la confusión entre ‘hacer el mejor uso posible del territorio’ y ‘sacar el máximo beneficio en el menor tiempo posible’. Desde el punto de vista científico y técnico no cabe sino esperar que esto llegue a aplicarse en la práctica y pasar al siguiente problema: la proliferación de

iniciativas bienintencionadas pero fracasadas. No hay mejor indicador de ello que el que la mercadotecnia de los propios proyectos presente como prueba de su 'éxito' excavaciones, islas artificiales, canales, represamientos, vistosas infraestructuras más propias de áreas forestales que de zonas palustres, vallados, aguas eutrofizadas, sobrepoblación de algunos grupos de organismos, epidemias y pérdida de biodiversidad. Es evidente que algo no funcionará si se pretende restaurar un ecosistema natural con algunas de estas actuaciones. El resto, tal vez aplicables en humedales de otras áreas, no lo son en los mediterráneos.

Finalmente se presenta una propuesta metodológica basada en el conocimiento de cómo funcionan estos ecosistemas tan particulares, en lugar de en ese 'despotismo ilustrado' que pretende restaurarlos sin su participación. La propuesta está basada en las llamadas técnicas de evaluación funcional de humedales, desarrolladas por sendas iniciativas pioneras en desarrollo en los E.E.U.U. y la UE desde principios de los años 90. Estas iniciativas consideran los procesos hidrogeomorfológicos como la clave del funcionamiento de los humedales, por lo que las clases hidrogeomorfológicas de humedales se asocian a perfiles de funcionamiento ecológico. A continuación deben identificarse humedales de referencia representativos de los distintos perfiles de funcionamiento, entre los mejor conservados. Por último, la fase de valoración permitirá comparar los humedales donde se pretende actuar con los de referencia, lo que servirá para fijar las prioridades de actuación. Así mismo, los procedimientos de análisis funcional de humedales permiten evaluar el mejor o peor desempeño de funciones concretas atribuibles a cada clase hidrogeomorfológica de humedal, lo que posibilita actuaciones específicas de cada problema. La valoración parte de la información disponible en cada caso (+/-, semicuantitativa o cuantitativa), está abierta a y mejora con la inclusión de nueva información científica, y utiliza un sistema de indicadores que posibilita su aplicación por personal no experto.

IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DE PLANTA EN LAS LABORES DE REVEGETACIÓN

Villar Salvador, Pedro^{1,2}

¹ Centro Nacional de Mejora Forestal "El Serranillo", Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Medio Ambiente.

² Dpto. de Ecología, Edificio de Ciencias, Universidad de Alcalá.

El éxito de la restauración de una cubierta vegetal depende de múltiples factores. Entre ellos, la calidad de las plantas empleadas juega un papel muy relevante. Se considera que una planta o cualquier otro material de reproducción es de calidad cuando es capaz de alcanzar un desarrollo (supervivencia y crecimiento) óptimo en un medio determinado y, por tanto, cumplir los objetivos establecidos en un plan de restauración. La calidad de una planta está determinada por sus características genéticas, sanitarias, morfológicas y fisiológicas. El objetivo de este trabajo es revisar el estado del conocimiento sobre la calidad de planta, haciendo énfasis en los caracteres morfológicos y fisiológicos que condicionan el desarrollo de las restauraciones en ambientes mediterráneos. Además, el trabajo aporta una visión crítica de algunas de las ideas sobre calidad de planta que rigen actualmente en las actuaciones de restauración forestal en España, aportando nuevos enfoques y elementos de debate sobre la calidad de planta en los ambientes referidos.

La primera parte del trabajo se centra en la trascendencia de la calidad genética y sanitaria de las plantas. Las poblaciones de las especies no necesariamente son homogéneas genéticamente, sobre todo en aquellas que presentan nichos ecológicos muy amplios o especies con poblaciones aisladas. Existen

multitud de trabajos que demuestran diferencias de resistencia a factores de estrés (tanto abióticos como bióticos) o de capacidad de crecimiento de materiales de reproducción que provienen de distintas procedencias geográficas. La experiencia dicta la conveniencia de utilizar material de reproducción cuyo origen sea próximo en el espacio o, en su defecto, compatible con la zona a restaurar.

La segunda parte aborda el componente morfológico de la calidad de la planta. Hace referencia a un conjunto de caracteres tales como la altura, el diámetro y la masa de la parte aérea, la masa del sistema radical y una serie de índice como la proporción entre la masa aérea y la radical (PA/PR), la esbeltez de los tallos (altura/diámetro), etc. Algunos de estos caracteres son los únicos de índole funcional que se emplean actualmente en España para clasificar la calidad los lotes de plantas. La mayoría de ellos tienen una buena capacidad predictiva del desarrollo de las plantas en las plantaciones. En general, las plantas de una savia de mayor tamaño, especialmente mayor diámetro, masa aérea y radical, presentan mejor desarrollo en campo. La importancia de la proporción PA/PR de las plantas en su desarrollo en las plantaciones no es clara. El PA/PR medio difiere mucho entre especies no existiendo un PA/PR ideal universal. Sin embargo, los resultados experimentales indican que no necesariamente un PA/PR reducido (mayor desarrollo radical con respecto al aéreo) implica un mejor desarrollo en campo.

Los caracteres fisiológicos constituyen el objetivo de la tercera parte del trabajo. Por un lado, engloba a los caracteres de estado, como la concentración de nutrientes minerales o de azúcares de reserva y la capacidad de fotosíntesis. Por otro lado, reúne a los que miden la capacidad de respuesta o desarrollo de las plantas bajo determinadas condiciones ambientales, como la resistencia a las heladas y al estrés hídrico, la capacidad de crecimiento de nuevas raíces (CCR), etc. Los caracteres fisiológicos son más costosos de obtener que los morfológicos pero son un complemento fundamental de los mismos. No son empleados actualmente en España como medios de control de calidad pero sí en otros países con sectores forestales muy grandes. La capacidad de predicción del desarrollo de las plantaciones de estos caracteres es relativamente buena, siendo destacables las buenas correlaciones con CCR, la resistencia a la helada y el estado nutricional de las plantas. En general, las plantas con mayor contenido de nutrientes, CCR y resistencia a la helada presentan mejores desarrollos en el campo.

Finalmente, se abordará qué prácticas de cultivo en vivero y de manejo en campo pueden determinar la calidad morfológica y fisiológica de las plantas. Los regímenes de fertilización, los contenedores y los sustratos son las principales herramientas viverísticas. Las condiciones invernales que se dan en el vivero y la prevención de la desecación de las plantas durante su transporte y su plantación son otros factores que influyen de manera significativa en la calidad funcional de la planta.

TÉCNICAS DE REVEGETACIÓN DE TALUDES

Carmen Mataix González

Estudios y Proyectos Mineros, S.A., c/ Sagasta, 21, 5º izqda., 28004 Madrid.

Las técnicas de tratamiento de taludes en las que se utiliza la vegetación como elemento principal de estabilización y control de la erosión, pueden clasificarse en función de la utilización o no de elementos estructurales inertes y de la importancia relativa de la vegetación como elemento de estabilización. Las construcciones vivas engloban las técnicas convencionales de revegetación, cuya función principal es el control de la escorrentía. Se emplean técnicas específicas en las que se utilizan esquejes de especies leñosas, ramas y tallos, fundamentalmente, para desarrollar una cubierta vegetal estable y autosuficiente que actúe como un componente estructural para el refuerzo y estabilización del talud. En las construcciones mixtas se utilizan elementos vivos e inertes de forma combinada. Los elementos inertes

(gaviones, escolleras, revestimientos, etc.) proporcionan en un primer momento resistencia al talud frente a los procesos erosivos y de inestabilidad, pero su importancia como agentes de estabilización va disminuyendo progresivamente al desarrollarse la cubierta vegetal. Algunas técnicas específicas de tratamiento de taludes son las siguientes:

- Estaquillado. Es una técnica barata y de fácil ejecución que se utiliza principalmente para reparar pequeños deslizamientos y asentamientos originados por un exceso de humedad.
- Faginas. Son manojos de ramas y tallos atados en forma de huso que se colocan en el fondo de zanjas poco profundas, excavadas transversalmente siguiendo el contorno del talud, y que se recubren parcialmente de tierra. Es una técnica de estabilización muy efectiva que protege los taludes frente a deslizamientos superficiales y que permite escalonar su pendiente cuando la excavación es difícil.
- Esteras de matorral. Consiste en recubrir la superficie del talud con una capa gruesa de ramas atadas y entrelazadas a modo de colchón o estera, o simplemente extendidas sobre el terreno y ancladas. Esta técnica está especialmente indicada para el tratamiento de las orillas de ríos y arroyos.
- Escalones de matorral. Consiste en situar ramas en dirección perpendicular al perfil del talud en zanjas o entre capas sucesivas de tierra, de manera que formen una especie de terrazas. Entre otros efectos positivos, esta técnica disminuye la longitud efectiva de la pendiente y con ello la capacidad erosiva de la escorrentía.
- Estructuras de tierra reforzada. Es igual a los escalones de matorral, pero alternando capas de tierras y ramas de poco espesor con capas mucho más gruesas de tierras de relleno envueltas en un geotextil. Las sucesivas capas de tierras de relleno forman una estructura que, en un primer momento, actúa como un muro de contención, sujetando el talud. Cuando las ramas arraigan, las raíces se introducen entre la cubierta de geotextil y el material de relleno, formando con ellas una masa coherente y sólida, y penetran dentro del talud anclando firmemente toda la estructura.

En los últimos años se han desarrollado numerosas técnicas, productos y materiales que ayudan eficazmente a alcanzar buenos resultados en la revegetación cuando las condiciones de los taludes son desfavorables. Las novedades incluyen tierras artificiales diseñadas para el tratamiento de taludes en roca, productos estabilizantes y absorbentes, una variada gama de geotextiles, redes y mantas orgánicas, mantas volumétricas y redes de confinamiento celular, sistemas de estabilización y revegetación desarrollados bajo patente, como el sistema Geogreen® de construcción de muros verdes, o la malla tridimensional del Sistema Krismer.

El éxito de la revegetación no solo depende de la elección de la técnica y los materiales más adecuados. Intervienen también otra serie de factores externos. Las tres circunstancias que con mayor frecuencia están determinando resultados fallidos son el diseño incorrecto del talud, que favorece que se produzcan desprendimientos y roturas, la inexistencia o el mal funcionamiento de los sistemas de drenaje y control de la escorrentía y la falta de mantenimiento. Se analizan varios casos prácticos de taludes mineros y de obras públicas para ilustrar las posibilidades de tratamiento, su eficacia y la evolución en el tiempo.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL RELIEVE EN LA RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS DEGRADADOS. IMPLICACIONES ECOLÓGICAS

Nicolau Ibarra, José M.

Departamento Interuniversitario de Ecología, Sección de la Universidad de Alcalá.

La variedad de enfoques conceptuales y metodológicos en la disciplina de la restauración de ecosistemas se justifica por la diversidad de espacios degradados existentes. En función de la intensidad de la degradación y, por consiguiente, de los compartimentos afectados en los ecosistemas, el objetivo de la restauración corresponderá a las formas de relieve y/o al suelo y/o a las comunidades vegetales. En la recuperación de los ecosistemas afectados por movimiento de tierras tales como la minería a cielo abierto y las obras de ingeniería civil la restitución geomorfológica adquiere gran relevancia por su función de sustento del ecosistema restaurado y por ser, con mucho, la operación más cara de la restauración.

Restaurar es construir ecosistemas funcionales, esto es, con capacidad de automantenimiento e integrados en el entorno. En la práctica esto supone para el restaurador manejar de forma integrada la restitución de las formas de relieve, la formación de un suelo biológicamente activo, la implantación de una comunidad vegetal funcional y las formas de uso por parte de las comunidades locales. La estabilidad de los ecosistemas restaurados empieza a construirse a partir de unas geoformas estables, que en los ambientes mediterráneos implica laderas geotécnicamente seguras; que la erosión hídrica no constituya un mecanismo activo de explotación abiótica que comprometa la sucesión ecológica; que la forma y la pendiente de las laderas optimicen la disponibilidad de agua para la vegetación, principal factor limitante; y una red de drenaje en equilibrio con las laderas. Así, el éxito de una restauración descansa en primer término en un relieve cuya morfología favorezca al máximo el desarrollo del suelo y la vegetación.

¿Qué se conoce del comportamiento de los relieves generados en las restauraciones? Hay una abundante literatura sobre la geomorfología de los relieves antrópicos. En términos generales, los estadíos iniciales se encuentran fuera de equilibrio al incrementarse las fuerzas naturales que favorecen su erosión y disminuir las resistencias que la frenan. La erosión hídrica superficial es el principal agente modelador de estos relieves, y se halla condicionada por las propiedades físico-químicas de los materiales empleados como sustrato y por los métodos y maquinaria empleados en la configuración del relieve. En las regiones de clima entre árido y subhúmedo, la compactación del sustrato y la baja cobertura y biomasa vegetal favorecen el régimen hortoniano de escorrentía, que con frecuencia lleva a la formación de característicos sistemas de regueros. En las regiones húmedas, sin embargo, es el flujo subsuperficial el que desempeña un papel preponderante. Con frecuencia, los materiales que conforman el sustrato poseen una agregación y particulado diferente al de los suelos naturales, por su menor alteración y escasa clasificación. También es característica su marcada heterogeneidad espacial (lateral y vertical), lo que condiciona notablemente la generación de escorrentía y la producción y transporte de sedimentos. Se considera que la erosión está más limitada por la disponibilidad de sedimentos que por la capacidad de transporte de la escorrentía, que es muy elevada. La estabilidad geomorfológica de las áreas restauradas se ve amenazada, a menudo, por zonas críticas puntuales de baja tasa de infiltración y/o alta producción de sedimentos, como pistas, bermas, plataformas, taludes y cunetas.

El diseño del relieve se ha basado en modelos hidrológicos y de erosión con capacidad predictiva. La USLE para la erosión y el Número de Curva para la escorrentía, combinados, han sido los modelos más utilizados, con ciertas adaptaciones. La escuela norteamericana desarrolló en 1998 el modelo específico *Rusle for mined lands, constructed sites and reclaimed lands*, de gran interés por su consistencia y fácil uso. La escuela australiana ha seguido dos vías. La norteamericana, combinando con los modelos hidrológico y erosivo, otro de crecimiento de la vegetación herbácea (GRASP) y la de los modelos de evolución topográfica (SIBERIA), apropiados para comprobar la evolución de las formas a largo plazo, aunque más complejo.

La construcción de las formas de relieve presenta gran dificultad práctica por tener que adaptarse a la actividad transformadora del paisaje y no depender sólo de criterios geomorfológicos y ecológicos. Ha existido una evolución desde una “primera generación” de relieves contruidos con el objetivo de la estabilidad geotécnica, a una “segunda generación” en la que se busca la estabilidad del ecosistema soportado por las formas de relieve. Los primeros se caracterizan por una morfología rectilínea y abrupta,

basada en el esquema plataforma-talud-cuneta y los segundos en el de cuenca hidrológica-ladera-cauce. Todavía queda mucho camino por recorrer, sobre todo en la construcción de los cauces, el ajuste de la red de drenaje a la cuenca, la conexión con el paisaje del entorno, y la consideración del suelo y la vegetación en el funcionamiento del conjunto.

RESTAURACIÓN DE HÁBITATS DE PLANTAS VULNERABLES

Escudero Alcántara, Adrián

Área de Biodiversidad y Conservación, Universidad Rey Juan Carlos.

Durante los últimos años ha existido un considerable esfuerzo por parte de los profesionales de la Biología de Conservación para desarrollar un marco conceptual válido de técnicas y protocolos de restauración de poblaciones de plantas vasculares amenazadas. El IUCN/SSC *Re-introductions Specialists Group* y el *World Conservation Monitoring Centre* han elaborado un exhaustivo listado en el que se reúnen más de 200 trabajos relacionados con este objetivo. Fruto del trabajo científico y técnico allí recogido, desarrollado fundamentalmente a lo largo de la última década, se ha alcanzado el convencimiento de que esta disciplina requiere una aproximación de carácter multidisciplinar que considere aspectos políticos y económicos además de los biológicos.

El objetivo de esta conferencia es presentar una síntesis del estado de conocimiento de los diferentes aspectos de carácter biológico implicados en la restauración de poblaciones de plantas con problemas de conservación. Aunque el elenco de técnicas básicas de restauración utilizadas varía notablemente en cada caso (reintroducciones, translocaciones, reforzamientos), el objetivo principal es siempre el mismo: el establecimiento de poblaciones viables en condiciones naturales. Para que se tenga éxito es imprescindible tener un profundo conocimiento de los aspectos biológicos, tanto genéticos y demográficos como estrictamente ecológicos, que determinan la vulnerabilidad de la planta objetivo. Entre los aspectos de carácter ecológico cabe destacar los relacionados con la biología reproductiva y el establecimiento. Se debe valorar la importancia que tiene la estructura espacial y de clases de edad de las poblaciones, ya que a partir de ellas resulta sencillo inferir relaciones bióticas (competencia y facilitación, entre otras) que pueden resultar clave para el éxito de la actuación. Igualmente es necesario discutir la relevancia del conocimiento de la estructura genética, en sus componentes complementarios de diversidad total como de estructura espacial.

Pese a que históricamente las aproximaciones ecológicas y genéticas al problema de la rareza de las especies han caminado en ocasiones por sendas diferentes, incidiré en la necesidad de unirlos para generar un marco que explique el declive y la rareza de las poblaciones objeto de estudio. Una vez establecido el marco biológico de la especie objeto de la acción, se necesita evaluar el marco ambiental en el que se ha producido el declive demográfico de la planta/población. Entre las causas que pueden determinar este retroceso destacan el calentamiento global y la fragmentación y destrucción del hábitat. La importancia relativa de cada una de estos factores como generadores de problemas de viabilidad en un ámbito mediterráneo como el nuestro, así como su importancia a la hora de diseñar planes de restauración, será comentado brevemente. Esta escala de percepción del problema puede enmarcarse de forma prometedora en el ámbito de la teoría de las metapoblaciones. Este escenario teórico ha sido tenido en cuenta sólo puntualmente a la hora de implementar protocolos de conservación y restauración de plantas amenazadas.

La ausencia de información básica resulta llamativa dada la proliferación de planes de restauración, llamados de recuperación en la legislación española, al menos en los países desarrollados. Como consecuencia de ello, estos planes resultan a menudo estandarizados y las recomendaciones que incluyen son vagas y difíciles de conectar con la viabilidad de las poblaciones naturales de la planta objeto del plan.

Otros elementos relevantes en la elaboración o el seguimiento de planes de restauración de esta naturaleza, como son la definición del éxito de la actuación, la selección de lugares de reintroducción, la utilización de modelos matemáticos como herramientas para la toma de decisiones o el cómo diseñar las nuevas poblaciones serán también discutidos. Finalmente propondremos para la reflexión una serie de cuestiones como en qué medida las actuaciones de restauración pueden o deben imitar los procesos de colonización y dispersión de las poblaciones naturales.

RECUPERACIÓN DE HÁBITATS PARA LA FAUNA Y PREVENCIÓN DE IMPACTOS

Carme Rosell

MINUARTIA, Estudis Ambientals. P/ Domènech, 3, 1ª, 08470 Sant Celoni.

Dpt. Biologia Animal (Vertebrats), Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona.

La restauración de ecosistemas genera efectos sobre las poblaciones de fauna asociadas a los hábitats recuperados. A su vez, las prácticas de recuperación de especies animales implican actuaciones de mejora del hábitat. Esta interrelación no siempre se pone de manifiesto ni en los proyectos de restauración paisajística ni en los proyectos de recuperación de especies.

No obstante, la conservación de la fauna se centra cada vez más en actuaciones de gestión del hábitat. Numerosos planes de recuperación que se llevan a cabo en ambientes mediterráneos permiten ilustrar este hecho, poniendo en evidencia como la conservación de una especie requiere la creación de un nuevo hábitat o la realización de actuaciones que permitan mejorar su calidad. Esto implica recuperar condiciones optimas en cuanto a disponibilidad de alimento y de refugios, pero también atenuar los impactos que puedan afectar negativamente a las especies que se pretende recuperar. La clave de la conservación de especies tan emblemáticas como el lince ibérico (*Lynx pardina*), por ejemplo, se encuentra en la capacidad de mejorar las condiciones de su hábitat. Ello comporta no sólo realizar actuaciones para conseguir poblaciones más numerosas de presas, sino también garantizar funciones mucho más complejas como el mantenimiento de la conectividad de los ambientes adecuados para la especie, garantizando el libre desplazamiento de los animales para acceder a hábitats propicios. El evitar la fragmentación de hábitats, y el restaurar la conectividad entre hábitats fragmentados, debe ser considerado un aspecto prioritario en los proyectos de restauración, ya que actualmente este factor es una de las causas más importantes de pérdida de biodiversidad en Europa.

La construcción de infraestructuras de transporte, una de las principales barreras que impiden la libre dispersión de fauna y además un importante factor de mortalidad para muchas especies, permite plantear un nuevo ámbito de relación entre restauración paisajística y conservación de la fauna. Diversos proyectos que afectan áreas especialmente sensibles incluidas en la Red Natura 2000 han incorporado además de las habituales medidas preventivas y correctoras de impactos tales como revegetación de taludes y permeabilización mediante construcción de pasos de fauna, entre otras, medidas compensatorias que implican la creación de nuevos hábitats para la fauna o la mejora de los existentes. Algunas proyectos en curso en la Comunidad de Madrid y en Andalucía incluyen como medidas para compensar los impactos causados por las infraestructuras la mejora del entorno de las vías con el objetivo de favorecer su capacidad de acogida de aves de estepas, avifauna acuática, quirópteros, nutrias (*Lutra lutra*), etc. Además, estas medidas de mejora del hábitat incluyen en algunos casos actuaciones de eliminación de impactos existentes como la adecuación o soterramiento de tendidos eléctricos para reducir la mortalidad de aves, o la permeabilización de carreteras o ferrocarriles ya existentes. Sin duda alguna, estas medidas

no deben ser utilizadas como moneda de cambio para que puedan construirse infraestructuras que puedan generar impactos ecológicos críticos. Sin embargo, más allá de la controversia, su aplicación debe ser tomada en cuenta como un nuevo frente de actuaciones en relación con la restauración de hábitats para la fauna.

Finalmente, cabe destacar los proyectos en los que la recuperación de una especie se erige como bandera para la restauración de un hábitat. Los proyectos de recuperación de náyades, concretamente *Margaritifera auricularia* y *Unio aleroni*, son un excelente ejemplo de como la recuperación de estas especies comporta la realización de actuaciones de eliminación de impactos existentes y mejora de calidad del agua y de la vegetación ribereña, que favorecen la recuperación de todo el curso fluvial. En estos casos, la recuperación de la especie es el motor que genera la restauración del ecosistema en su conjunto.

REHABILITACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS

Rodríguez Maroto, José M.

Dpto. de Ingeniería Química de la Universidad de Málaga.

La rehabilitación de suelos contaminados comprende un conjunto de procedimientos que, mediante la contención, retirada o destrucción de las sustancias contaminantes, permite la recuperación total o parcial de las funciones del suelo. El gran número de técnicas existentes puede agruparse en función de sus características de operación o finalidad. Así, según el objetivo del tratamiento, un grupo está formado por las tecnologías de inmovilización o contención de los contaminantes, mientras que otro comprende los diferentes tratamientos para eliminarlos, mediante su retirada (lavado, extracción de vapores, arrastre con vapor, etc.) o su transformación (incineración, vitrificación, biodegradación, etc.).

Por otro lado, de acuerdo con la ubicación del suelo durante su tratamiento, existen dos tipos de técnicas, las que se aplican sobre el suelo contaminado en su posición de origen, *in situ*, y las que se emplean con posterioridad a la excavación del terreno, *ex situ*. Además, los tratamientos *ex situ* pueden llevarse a cabo sobre el propio terreno (*on site*) o en otro lugar (*off site*). Los tratamientos *ex situ* presentan, entre otros inconvenientes, la emisión incontrolada de partículas o vapores provocada por la excavación y la dificultad de llevarla a cabo si la contaminación se extiende cerca de tuberías, líneas eléctricas o cimentaciones de edificios. Otro inconveniente es el encarecimiento derivado de ésta y del transporte, si el tratamiento se efectúa fuera del emplazamiento, así como de los costes del vertido del suelo y del material de relleno, si éste se deposita en un vertedero. A pesar de todos estos inconvenientes los tratamientos *ex situ* todavía se utilizan con cierta asiduidad porque la excavación es fácil de llevar a cabo, puede ser efectuada rápidamente y es capaz de eliminar la contaminación de forma clara y demostrable, garantizando la ausencia de responsabilidad legal en el futuro.

En cualquier caso, existe una clara evolución hacia un empleo creciente de las técnicas de descontaminación, mediante retirada o destrucción de los contaminantes, frente a la inmovilización o contención, así como de la aplicación de las técnicas *in situ* frente a su aplicación *ex situ*. Los tratamientos de inmovilización o contención de los contaminantes pueden consistir desde el empleo de barreras impermeables hasta la estabilización química. La contención puede ser un procedimiento eficaz y económico para lograr la disminución del riesgo al impedir la migración de los contaminantes. Sin embargo, dado que no produce su eliminación, si los resultados no son satisfactorios, se puede incurrir en futuras responsabilidades legales.

Por su parte, la rehabilitación mediante la retirada de los contaminantes consiste en su extracción del suelo, excavado o no, por arrastre en el seno de una fase gaseosa (contaminantes volátiles y semivolátiles) o líquida, utilizándose como vehículos de transporte el aire, vapor de agua y disoluciones acuosas, entre otros, que se ponen en contacto con el suelo contaminado. Como fuerzas impulsoras del movimiento de dichas fases fluidas se utilizan gradientes de presión o diferencias de potencial eléctrico.

Los tratamientos de descontaminación que persiguen la eliminación del riesgo mediante la transformación de los contaminantes del suelo en productos no peligrosos emplean fundamentalmente procesos térmicos o biológicos. Los procesos térmicos más conocidos son la incineración y la vitrificación. La incineración opera calentando el suelo excavado hasta temperaturas a las cuales se produce, primero, la volatilización de los contaminantes y, después, su destrucción por oxidación térmica. Durante la vitrificación (aplicada *ex situ* o *in situ*) se calienta el suelo hasta temperaturas tan elevadas como para producir su fusión, generando una masa vítrea inerte donde se retienen la mayor parte de los contaminantes inorgánicos, al tiempo que los contaminantes orgánicos son destruidos por pirólisis o combustión.

Los procesos biológicos persiguen la biotransformación de los contaminantes en productos inocuos. Dichos procesos permiten el tratamiento tanto de la zona saturada del suelo como de la zona insaturada, y pueden aplicarse sobre el suelo excavado y el agua subterránea bombeada a la superficie o *in situ*. La rehabilitación biológica de los suelos presenta, normalmente, la ventaja de producir una menor alteración de las características naturales de los mismos que la mayoría de las otras técnicas. Su inconveniente suele ser su lentitud, sobre todo si se trata de procesos anaerobios, mientras que, cuando se trata de tratamientos aerobios, en general más recomendables, suelen aparecer dificultades en el suministro del oxígeno necesario.

No existe una técnica claramente superior en prestaciones a las demás, sino que su competitividad depende básicamente del binomio suelo-contaminante. Es decir, solamente tras el conocimiento de las características del vertido, del contaminante y del medio físico implicados resulta posible seleccionar el procedimiento idóneo para la rehabilitación de un suelo contaminado.